





Biofermentador de café acoplado a sistema de monitoreo de temperatura y pH basado en la nube Internet of Things (IOT)

Castillo-González, Luis A. ; Zalazar-Marcial, Edgardo ; Bautista-Hernández, Laura ; Salazar-Ortiz, Juan* 

Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. km 348 Carr. Fed. Córdoba-Veracruz, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. 94946. México.

* Autor para correspondencia: salazar@colpos.mx

Problema

El procesamiento del café (*Coffea arabica* L.) a nivel global utiliza métodos secos y húmedos para separar la pulpa. En México, las variedades arábicas utilizan el método húmedo, donde los frutos se despulpan, las semillas se fermentan por 24-48 horas, se lavan para eliminar el mucílago, y finalmente se secan hasta alcanzar el 12% de humedad. El proceso de fermentación ayuda a degradar el mucílago, compuesto por azúcares y compuestos pectínicos, transformándolos en alcoholes y ácidos orgánicos, facilitando su eliminación. Recientemente se han desarrollado nuevas técnicas de fermentación en la industria del café para mejorar la calidad y diversificar los perfiles de sabor. Estas técnicas controlan la fermentación, al monitorear las variables de temperatura, tiempo y pH que influyen en los perfiles de sabor. La fermentación del fruto de café cereza sin despulpar, permite que las pectinasas descompongan las pectinas, esenciales para el proceso. El ambiente ácido y la participación de levaduras son cruciales, ya que permiten que el mucílago se adhiera al pergamino, generando subproductos característicos. El control de la temperatura y el pH es vital, ya que estos influyen en la actividad enzimática y microbiana, afectando las características organolépticas del café. La temperatura óptima de la fermentación varía entre 18 y 25 °C, favoreciendo el desarrollo de levaduras y bacterias ácido-lácticas, y un pH entre 4.5 y 5.5 promueve el crecimiento de bacterias benéficas. La fermentación es el paso menos controlado del proceso y los esfuerzos de investigación se centran en desarrollar métodos de monitoreo rápidos, no invasivos y precisos que nos permitan controlar las variables temperatura, pH y CO₂. El empleo de sensores y dispositivos inalámbricos permite gestionar grandes volúmenes de datos y ofrece nuevas perspectivas para el monitoreo en tiempo real de

Cómo citar: Castillo González, L. A., Zalazar Marcial, E., Bautista Hernández, L., & Salazar Ortiz, J. Biofermentador de café acoplado a sistema de monitoreo de temperatura y pH basado en la nube Internet of Things (IOT). *Agro-Divulgación*, 5(1). <https://doi.org/10.54767/ad.v5i1.337>

Editores académicos: Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Octubre, 2025.

Agro-Divulgación, 5(1). Enero-Febrero. 2025. pp: 25-29.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



la temperatura y el pH durante la fermentación, optimizando el proceso a fin de lograr resultados consistentes y deseados en términos de sabor, aroma y calidad final del café. Utilizar herramientas tecnológicas como sistemas automatizados de recolección de datos puede ser benéfico para monitorear y ajustar estos parámetros de manera eficiente durante este proceso.

Solución planteada

El sistema de monitoreo de temperatura y pH basado en la Nube IoT para fermentación de café, es un desarrollo tecnológico diseñado para monitorear las variables críticas de temperatura, pH y tiempo. El uso de sensores inalámbricos y autónomos facilita la recolección en tiempo real de datos intensivos, permitiendo la creación de sistemas diseñados para recopilar información y datos provenientes de fuentes, como sensores, instrumentos de medición y dispositivos electrónicos. Estos sistemas permiten la recolección, el procesamiento y la transferencia de datos, desde diversas ubicaciones y fuentes hacia una ubicación centralizada o un sistema de control, donde los datos pueden ser analizados, almacenados y utilizados para tomar decisiones informadas. Por ello se diseñó y construyó para fines experimentales un biofermentador en donde se desarrolló la instrumentación elemental para la medición de temperatura y pH, con dispositivos adecuados y con características de precisión aceptables en comparación con los equipos comerciales.

Para ello se evaluó la fermentación de café en cereza, en un biofermentador con capacidad de 200 litros con dimensiones de 58×96 cm (diámetro, altura), se cargó con 60 kg de café cereza (Figura 1). Durante la fermentación los granos de café están bajo un ambiente con oxígeno reducido lo cual resalta el sabor del café en taza. El sistema



Figura 1. A) Sistema de monitoreo conectado a computadora para verificación de registro de datos en la nube IoT. B) Biofermentador en funcionamiento.

desarrollado es capaz de: 1) Monitoreo en Tiempo Real. Está equipado con sensores de temperatura y pH en contacto con la masa de café en fermentación. Estos recopilan datos, en tiempo real, sobre los cambios en estas variables. 2) Conectividad Internet of Things (IoT). Los datos recopilados por los sensores se transmiten de manera alámbrica o inalámbrica a través de una red IoT. Esto permite la comunicación entre los sensores y plataforma de gestión ThingSpeak. 3) Plataforma en la Nube. Los datos transmitidos por los sensores son enviados a la plataforma ThingSpeak que recoge y almacena los datos en la nube. También ofrece aplicaciones que permiten analizar y visualizar los datos en MATLAB y actuar sobre los datos almacenados y procesados. Esto permite un acceso fácil y seguro a los datos a través de tablet, PC y teléfono celular. 4) Análisis. En la plataforma en la nube, los datos se pueden analizar para identificar tendencias, patrones o situaciones inusuales. 5) Interfaz de Usuario. Los usuarios, pueden acceder a la plataforma en la nube a través de una interfaz. Desde donde se pueden monitorear los datos en tiempo real para tomar decisiones informadas sobre el proceso de fermentación. 6) Bajo Costo. La característica de “bajo costo” se refiere al uso de sensores para temperatura y pH con un costo de \$2,500.00 (\$125.00 USD) y tecnologías IoT accesibles, así como a la capacidad de utilizar infraestructura de nube disponible a precios competitivos.

El sensor interno de temperatura utilizado en el proceso de fermentación sólida de café logró registrar eficazmente las variaciones de temperatura a lo largo de las 48 horas de observación. En la Figura 2 se muestra un registro de los cambios en la temperatura

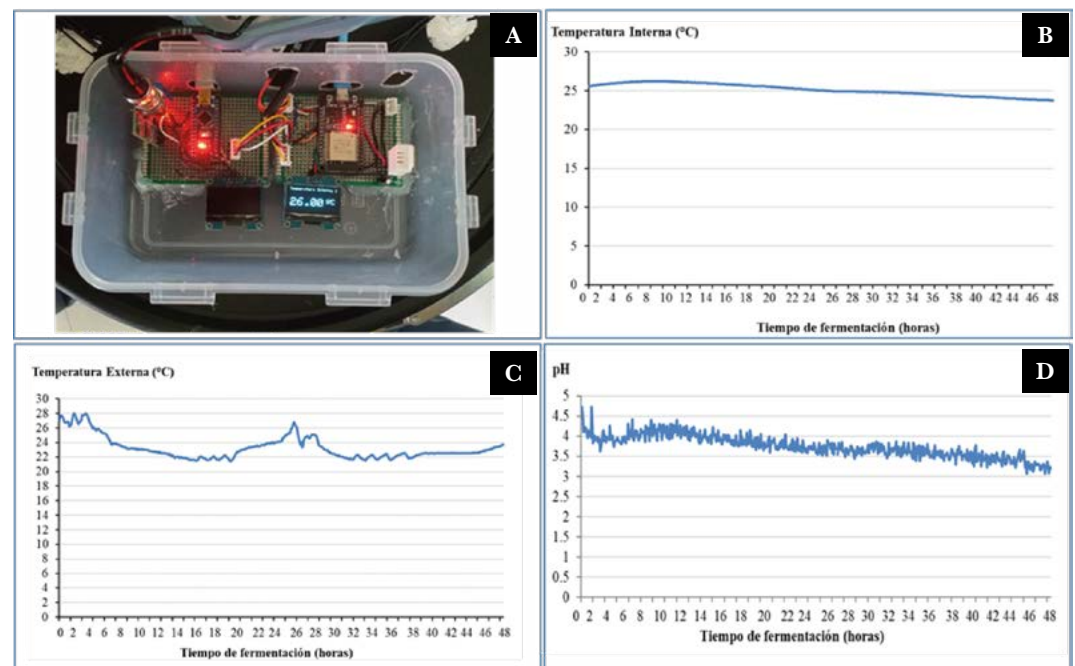


Figura 2. A) Sistema de monitoreo de temperatura, pH y CO₂ basado en la nube IoT; Variables medidas durante 48 h de fermentación A) Temperatura al interior del sistema; B) Temperatura ambiental y C) medición del pH.

interna desde su valor máximo inicial alrededor de los 26 °C hasta su descenso continuo, alcanzando cerca de 23.5 °C al final del proceso. La precisión de estos datos permite observar claramente la evolución de la temperatura durante la fermentación, reflejando los efectos de la actividad metabólica de los microorganismos. El sensor de temperatura externa logró registrar adecuadamente las variaciones a lo largo de la fermentación de café, inicialmente, capturó fluctuaciones en la temperatura entre 26 °C y 28 °C, seguidas de una tendencia descendente y una posterior estabilización entre 22 °C y 24 °C en las primeras 6 a 18 horas. Además, el sensor detectó un ligero aumento hacia las 13 horas y posteriormente una fase de estabilidad en la mayoría del proceso. Estas lecturas indican que el sensor externo fue efectivo en registrar las condiciones ambientales y sus fluctuaciones, reflejando cómo los factores externos pudieron influir indirectamente en la fermentación. Finalmente, el sensor de pH logró registrar las variaciones que ocurrieron durante el proceso de fermentación del café. En las primeras horas, detectó fluctuaciones significativas en el pH, comenzando alrededor de 4.5, lo cual es común debido a la actividad inicial de los microorganismos y a la producción de ácidos. A medida que avanzó la fermentación, el sensor registró una estabilización en el pH cerca de 4, seguido de un descenso gradual hasta alcanzar aproximadamente 3.5 al final del proceso. Este comportamiento refleja la producción de ácidos orgánicos por los microorganismos, lo que provoca un ambiente más ácido, característico de procesos fermentativos. Consecuentemente, el sensor fue efectivo en registrar las dinámicas del pH a lo largo de la fermentación.

El sistema de monitoreo basado en IoT y nube asegura un monitoreo preciso de la temperatura y pH durante la fermentación del café. La conectividad IoT permite la comunicación en tiempo real entre sensores y la plataforma ThingSpeak, facilitando la supervisión y gestión de la fermentación. La plataforma ThingSpeak recoge y almacena datos en la nube, brindando acceso seguro y fácil a través de dispositivos diversos, como tablets, PCs y teléfonos celulares. La capacidad de analizar datos en la nube revela tendencias y patrones, facilitando la detección de situaciones anómalas y la toma de decisiones informadas.

La interfaz de usuario en la nube permite monitorear en tiempo real y tomar decisiones fundamentadas para optimizar la fermentación. La implementación de tecnologías accesibles y la infraestructura en la nube asequible hacen que esta solución sea económicamente viable y accesible para los usuarios. El desarrollo de este biofermentador equipado de un sistema de monitoreo de temperatura y pH de bajo costo basado en la nube IoT para fermentación de café requirió la experiencia en ingeniería de control, automatización, sensores y conocimiento en tecnología de alimentos.

Innovaciones, Impactos e Indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador	
			Sector	Ámbito				
Incremental	Busca mejorar los sistemas que ya existen haciéndolos mejores, más rápidos, más baratos, etc.	Asociaciones de Productores	Primario: Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería	Social	Ciencia y Tecnología	Competitividad	Registro solicitado y concedido	
Procesos		Gobierno de los Estados		Económico	Económico		Recursos Humanos	Patentes solicitadas y concedidas
		Productores independientes		Ambiental Conocimiento	Educación		Capacitación	Numero de tesis
Innovación sostenible	Implementación de una nueva o significativa mejora de un método de producción o de suministro.	Comunidades Agrarias	Secundario: Actividades económicas que transforman las materias primas en productos elaborados (Agroindustria)		Responsabilidad Ambiental		Número de egresados (Lic. M.C., D.C.)	
			Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)		Salud Pública		Número de publicaciones	
	Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible						Transferencias tecnológicas	
							Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico	

